

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 658.51: 631

doi: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp110-117>

Создание универсального орудия для мелиоративной обработки равнин и склонов на основе концептуального конструирования

Валерий Павлович Максимов, Андрей Андреевич Михайлин

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова Донской ГАУ,
г. Новочеркасск, Россия

e-mail: v_maximov@mail.ru

Аннотация. Предложенный в работе частный набор методов концептуального конструирования, по сути, является функционально-структурным анализом, который включает в себя выделения структуры системы из среды, последовательность выполнения ряда действий по декомпозиции целей. В некоторых случаях метод концептуального конструирования проводит системный синтез исследуемого проекта. Объектно-ориентированное моделирование является одной из главных элементов такой методологии. Применение современных методов анализа и синтеза структуры объекта сводит к минимуму ошибки, которые потенциально возможны при концептуальном конструировании, и позволяет получить на данном этапе максимальное улучшение структуры орудия, которая наиболее рационально подходит под функциональные требования технического задания. Используя методологию концептуального конструирования системы на базе универсального языка моделирования UML, используя при этом интеграцию необходимых соответствующих диаграмм, получаем возможность создать нужную структурную модель системы. Структурная модель получена в результате объединения двух унарных диаграмм (целевых классов и классов объектов) посредством логических функциональных связей их сущностей в виде третьей (переходной) унарной диаграммы функционально-целевых классов и является гибридной объектно-целевой диаграммой классов. Эта диаграмма описывает воздействия на исследуемую систему мелиоративной обработки склоновых и равнинных земель, а также требования по их обработке. Возникающие цели структурируются взаимосвязью с элементами технологического оборудования от поставленных технологических задач. Полученные структурированные цели объединяются в базовую структуру через их отношения агрегации орудия для системы мелиоративной обработки склоновых и равнинных земель. В результате проведенных теоретических исследований системы мелиоративной обработки был создан новый способ обработки склонов, защищенный патентом РФ, а также ряд изобретений, позволяющих создать универсальное почвообрабатывающее орудие, используемое в системе мелиоративной обработки для склоновых и равнинных земель.

Ключевые слова: концептуальное конструирование; универсальный язык моделирования; объектно-ориентированный анализ; мелиоративная обработка; равнинные и склоновые земли; глубокорыхлитель

Для цитирования: Максимов В. П., Михайлин А. А. Создание универсального орудия для мелиоративной обработки равнин и склонов на основе концептуального конструирования // Аграрный научный журнал. 2024. № 3. С. 110–117. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp110-117>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Creation of a universal tool for reclamation cultivation of plains and slopes based on conceptual design

Valeriy Pavlovich Maksimov, Andrey Andreyevich Mikhaylin

Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov of the Don State Agricultural University, Novocherkassk, Russia

e-mail: v_maximov@mail.ru

Abstract. The particular set of conceptual design methods proposed in this paper is, in fact, a functional and structural analysis, which includes: isolating the structure of the system from the environment, the sequence of performing a number of actions to achieve goals, etc. In some cases, the conceptual design methods conduct a systematic synthesis of the project under study. Object-oriented modeling is one of the main elements of such a methodology. The use of modern methods of analysis and synthesis of the structure of the object minimizes



errors that are potentially possible during conceptual design and allows to obtain at this stage the maximum improvement of the structure of the tool, which most rationally fits the functional requirements of the technical task. Using the methodology of conceptual system design based on the universal modeling language UML, while using the integration of the necessary corresponding diagrams, we get the opportunity to create the necessary structural model of the system. The structural model is obtained as a result of combining two unary diagrams (target classes and object classes) through logical functional relationships of their entities in the form of a third (transitional) unary diagram of functional-target classes and is a hybrid object-target diagram of classes. This diagram describes the effects on the studied system of reclamation cultivation of slope and plain lands as well as the requirements for their treatment. Emerging goals are structured by the relationship with the elements of technological equipment from the set technological tasks. The resulting structured targets are combined into a basic structure through their aggregation relations of the tool for the system of reclamation cultivation of slope and plain lands. As a result of the theoretical studies of the reclamation treatment system, a new method of slope treatment was created, protected by the RF patent, as well as a number of inventions allowing to create a universal tillage tool used in the reclamation cultivation system for slope and plain lands.

Keywords: conceptual design; universal modeling language; object-oriented analysis; reclamation cultivation; plains and slopes based; subsoiler

For citation: Maksimov V. P., Mikhaylin A. A. Creation of a universal tool for reclamation cultivation of plains and slopes based on conceptual design // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(3):110–117. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp110-117>.

Введение. Обрабатываемые склоновые и равнинные земли юга России, особенно Ростовской области, испытывают деградационный тренд, что обусловлено развивающимися субаридными климатическими условиями (снижение дебета осадков, дефляция и т.д.), воздействие которых усугубляется увеличивающимся переуплотнением обрабатываемых почв, которое за последние 30 лет увеличилось более чем на 20 %. Этому способствует повсеместное использование на полях современной техники, которая зачастую является тяжелой и энергонасыщенной [3]. Следовательно, переуплотнение обрабатываемых земель – одно из внешних глобальных воздействий на почвы, следствием чего является существенное снижение урожайности возделываемых сельхозкультур. Деградируемые почвы испытывают дефицит внутрипочвенной влаги, при этом вследствие критически низкой фильтрационной способности земель возникает поверхностный сток. По данным доклада Климатического центра Росгидромета за 2017 г., в последующие 50-60 лет ожидается увеличение негативных климатических факторов на юге России. Наиболее сильно «страдают» обрабатываемые почвы склоновых земель. На них деструктивные факторы деградации почв особенно явно проявляются – склон иссушен, основание, как правило, заболачивается, часто происходит сползание верхнего плодородного слоя почвы к подошве склона. Все это ведет к присовокупленным потерям урожайности до 12–20 % [1, 7, 16]. При возделывании склоновых земель возникают дополнительные требования к способам хозяйственной деятельности на них. Возникает необходимость в создании и применении новых способов, технологических приемов и специальных конструктивных решений. Для уборочной и посевной техники эти требования достаточно успешно удовлетворяются [17, 18]. В части обработки склоновых земель необходимо использовать новый мелиоративный способ [9], основанный на глубоком рыхлении почв, резко увеличивающий фильтрационную способность обрабатываемого склона и аккумулирующий внутрипочвенную влагу на нем. При этом почвообрабатывающее орудие должно быть универсально, то есть обрабатывать как склоны, так и равнинные участки, чтобы существенно не повышать себестоимость обработки почв для хозяйствующих субъектов. Но существующие почвообрабатывающие орудия не в состоянии реализовать данные требования. Исходя из этого, возникает актуальная проблема рационального поиска и решения выявленных требований к системе мелиоративной обработки склоновых и равнинных земель (СМОСРЗ) на основе методологии концептуального конструирования.

Материалы и методы. На начальном этапе проектирования, то есть на стадии технического предложения (по терминологии ЕСКД), из-за возможного несоответствия технического объекта техническому заданию, возможно, образуются в проектах до 2/3 недостаточно проработанных технико-технологических решений вследствие общих причин [15]. Методы анализа и синтеза структуры объекта в объектно-ориентированном моделировании практически исключают воз-



можные ошибки и способствуют созданию наиболее рациональной структуры орудия на этой стадии. Здесь конструктивные элементы орудия наилучшим образом оптимизируются согласно функциональным требованиям технического задания.

По причине недостаточно проработанных технико-технологических решений базового инварианта структуры универсального глубокорыхлителя создается тенденция неправильного имплементирования разрабатываемой системы с техническим заданием. Это возможно исправить, руководствуясь рациональным анализом рефлексивного осмысления несоответствия между существующей и разрабатываемой системами [4], например:

- 1) при моделировании базовой структуры орудия отсутствие (по различным причинам) современных технологий;
- 2) использование в моделировании классического индуктивного метода, вместо системного подхода.

Используя общеизвестный и широко применяемый философский базовый принцип диалектического метода Гегеля «принцип восхождения от абстрактного к конкретному» [8], технико-технические объекты, а также протекающие процессы рассматриваются как «Система», в соответствии с философской триадой основных категорий «*всеобщее – особенное – единичное*» [8]. Произведем адаптацию данных философских категорий под следующие понятия, рассматриваемые в техническом аспекте, которые актуальны в данном исследовании. В нашем исследовании категория «*всеобщее*» по смыслу соответствует категории «*абстрактное*». Исходя из этого в техническом задании эта категория представлена в виде глобальной цели. Следующая философская категория «*особенное*» будет по смыслу соответствовать категории «*объектное*», что представлено структурами объектов в системе. Таким образом логическая связь между двумя этими категориями по своему потенциальному функционалу позволяет реализовать абстрактные цели соответствующими реальными объектами.

Технология объектно-ориентированного анализа позволяет осуществлять переход от «*абстрактного*» к «*объектному*» не нарушая логических аспектов в технике и технологии исследуемой системы СМОСРЗ без возникновения возможных противоречий [2]. Использование философской триады категорий в части «*единичное*» как «*конкретное*» для получения количественных характеристик создаваемых объектов реализуется по известным стандартным методикам.

В процессе создания системы СМОСРЗ используется компьютерная поддержка логистических процессов систем CAE/CAD/CAM типа CALS (Computer Aided Logistics Support), отражающаяся на всех этапах жизненного цикла изделия, системы, орудия. Это является средством эффективного взаимодействия и не противоречит существующим на сегодняшний день САПР.

Результаты исследований. При создании системы мелиоративной обработки склоновых и равнинных земель (СМОСРЗ) возникает необходимость перехода от структуры целей к структурной модели. Для этого перехода разработана концептуальная модель, позволяющая его выполнить. В результате применения методологии системного анализа получены рациональные базовые структуры в предметно-ориентированных системах, к которым относится рассматриваемая СМОСРЗ. Задействованные специальные методы проектирования используют принципы проектирования, включающие аспекты, такие как технологический, конструкторский и функциональный [2, 6, 14]. Основой структуры СМОСРЗ и прогноза ее поведения является определение начальных концептов.

В нашем случае основополагающим в исследовании СМОСРЗ являются цели [14]. Цель – это главный системообразующий фактор. При мелиоративной обработке склоновых и равнинных земель влияние имеют такие критерии, как: состав почвы, угол склона дневной поверхности поля относительно горизонтали, виды технологического возделывания почвы и глубина ее обработки, влажность. Приведенные критерии оказывают воздействие также на глобальную цель и последующие ее декомпозиции, формирующие в конечном счете всю структуру СМОСРЗ. Описание эволюционирующих систем – это особенность объектно-ориентированных методологий. Такая возможность позволяет включать новые объекты и исключать устаревшие,



т.е. изменять состав системы, при этом будет отсутствовать негативное влияние изменяемых факторов на систему и не возникнет угроза потери ее жизнеспособности.

СМОСРЗ в исследовании представлена в виде нотации базового унифицированного языка моделирования UML (Unified Modeling Language) с модифицированными авторами моделями представления и диаграммами. UML является одним из наиболее популярных инструментов разработки объектно-ориентированных систем, он включает набор графических элементов, используемых на диаграммах, и содержит правила для объединения этих элементов. В построении СМОСРЗ используем следующий набор элементов: «*Сущности*», «*Отношения*» и «*Диаграмма*», которые являются тремя типами моделирующих блоков в UML [2, 6].

Раскроем подробнее выбранные моделирующие классы (блоки). Классы «*Сущности*» образуют диаграмму классов, которые являются комплексом аспектов таргетирования. Взаимодействие блоков «*Сущностей*» друг с другом осуществляются посредством классов – «*Отношения*». Формирование инвариантной базовой структуры почвообрабатывающего универсального орудия, входящего в систему СМОСРЗ, осуществляется посредством предлагаемой методики структуризации целей системы, учитывающей не только среду целеобразования, но и семь уровней иерархии целей [5, 14]. Данный подход позволяет сократить перечень используемых признаков в зависимости от сложности рассматриваемой системы, при этом последовательность (порядок) их применения изменяется.

В стандартном виде универсальный язык моделирования UML оперирует 9 типами диаграмм. В целом все это в нашем случае будет выглядеть как диаграмма в виде связного графа («*Диаграммы*») с вершинами («*Сущности*») и ребрами («*Отношениями*»). Для описания исследуемой системы могут быть использованы не все типы диаграмм, поэтому представленная СМОСРЗ использует три стандартные: диаграмма классов, диаграмма объектов и диаграмма прецедентов.

В СМОСРЗ используется трехуровневая структура целей. Применим расширения функционала UML при концептуальном конструировании – добавим в анализ новую диаграмму «*функционально-целевые классы*». Использование новой добавленной диаграммы позволяет установить диалектическую взаимосвязь через функциональную общность «*Целей*» с «*Объектами*» которые реализуют эти «*Цели*». Используя такой прием, гибридная диаграмма целевых классов позволяет осуществить переход от «*Целей*» к «*Объектам*», что позволяет создать описание объектно-целевой структуры исследуемой системы МОСРЗ [5]. Взаимосвязь классов в концептуальном моделировании, используя унифицированный язык UML, показывается с помощью «*Отношений*». При таком подходе приоритетными являются «*Зависимости*» (изображаются пунктирной линией со стрелкой на конце), «*Наследования*» (сплошная с незаполненной треугольной стрелкой на конце), «*Ассоциации*» (сплошная линия) и «*Агрегации*» (сплошная с ромбовидной стрелкой на конце) [2, 6].

Проведенные преобразования позволяют представить исследуемую систему СМОСРЗ как набор элементов «конечного множества функциональных элементов и отношений между ними, выделенных из среды в соответствии с известной целью в рамках определенного временного интервала» [5, 14]:

$$S \stackrel{def}{\equiv} \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle.$$

Набор элементов «конечного множества» [12] включает в себя S – систему; A (при $A = a_i$) – множество вводимых элементов системы; R (при $R = \{r_i\}$) – множество отношений (связей) между элементами системы; Z – структуру целей системы; SR – среду целеобразования; ΔT – интервал времени целеобразования.

Разработанная гибридная инновационная тернарная объектно-целевая диаграмма классов (ОЦДК) системы СМОСРЗ приведена на рисунке.

Глобальная цель в представленной объектно-целевой диаграмме классов – это «*Повышение эффективности основной обработки почв*». В исследуемой инновационной системе СМОСРЗ глобальная цель определяется вследствие воздействия накладываемых ограничений на



исследуемую среду. Вместе с тем, вид конечного продукта имеет ярко выраженную тенденцию на формирование глобальной цели, определяющую выбор следующих сущностей: «Сохранение гумусового слоя» (СГС); «Сохранение стерни» (ССт); «Создание условий эффективной аэрации» (СУЭА); «Снижение энергоемкости обработки почвы» (СЭ); «Универсальность обрабатываемых средств» (СУЭА); «Максимальное исключение ручного труда» (МИРТ); «Создание условий ограниченной или управляемой водопроницаемости» (СУОВ).

В представленной ОЦДК следующий уровень в виде интервала «времени целеобразования» [2, 6] представлен последовательностью элементов дерева целей. Интервал «времени целеобразования» устанавливается в соответствии с принятым жизненным циклом системы СМОСРЗ. Дальнейшая логика рассмотрения определяет декомпозицию подцели СГС на: «Экологическая безопасность» (ЭБ); ССт на «Подрезание корневой системы» (ПКС); СУЭА на «Разуплотнение» (РУ); СЭ на «Нарезка щелей» (НЩ) и «Оптимальная зона разрыхления» (ЭГР); УОС на «Тип агрофона» (ТА); МИРТ на «Управление рабочими органами»; СУОВ на «Создание внутрпочвенной стенки» (СВПС).

Реализуемость дальнейшего ветвления «дерева целей» (ДЦ) определяется составом следующего уровня инновационной тернарной диаграммы ОЦДК, что и позволяет обеспечить достижения подцелей вышестоящего уровня. По логике представленного процесса следует использовать не термин «подцель», а термин «функция». Исходя из этого «дерево целей» переходит в «дерево функций» [5, 14].

Глобальная цель в представленной объектно-целевой диаграмме классов – это «Повышение эффективности основной обработки почв». В исследуемой инновационной системе СМОСРЗ глобальная цель определяется вследствие воздействия накладываемых ограничений на исследуемую среду. Вместе с тем, вид конечного продукта имеет ярко выраженную тенденцию на формирование глобальной цели, определяющую выбор следующих сущностей: «Сохранение гумусового слоя» (СГС); «Сохранение стерни» (ССт); «Создание условий эффективной аэрации» (СУЭА); «Снижение энергоемкости обработки почвы» (СЭ); «Универсальность обрабатываемых средств» (СУЭА); «Максимальное исключение ручного труда» (МИРТ); «Создание условий ограниченной или управляемой водопроницаемости» (СУОВ).

В представленной ОЦДК следующий уровень в виде интервала «времени целеобразования» [2, 6] представлен последовательностью элементов дерева целей. Интервал «времени целеобразования» устанавливается в соответствии с принятым жизненным циклом системы СМОСРЗ. Дальнейшая логика рассмотрения определяет декомпозицию подцели СГС на: «Экологическая безопасность» (ЭБ); ССт на «Подрезание корневой системы» (ПКС); СУЭА на «Разуплотнение» (РУ); СЭ на «Нарезка щелей» (НЩ) и «Оптимальная зона разрыхления» (ЭГР); УОС на «Тип агрофона» (ТА); МИРТ на «Управление рабочими органами»; СУОВ на «Создание внутрпочвенной стенки» (СВПС).

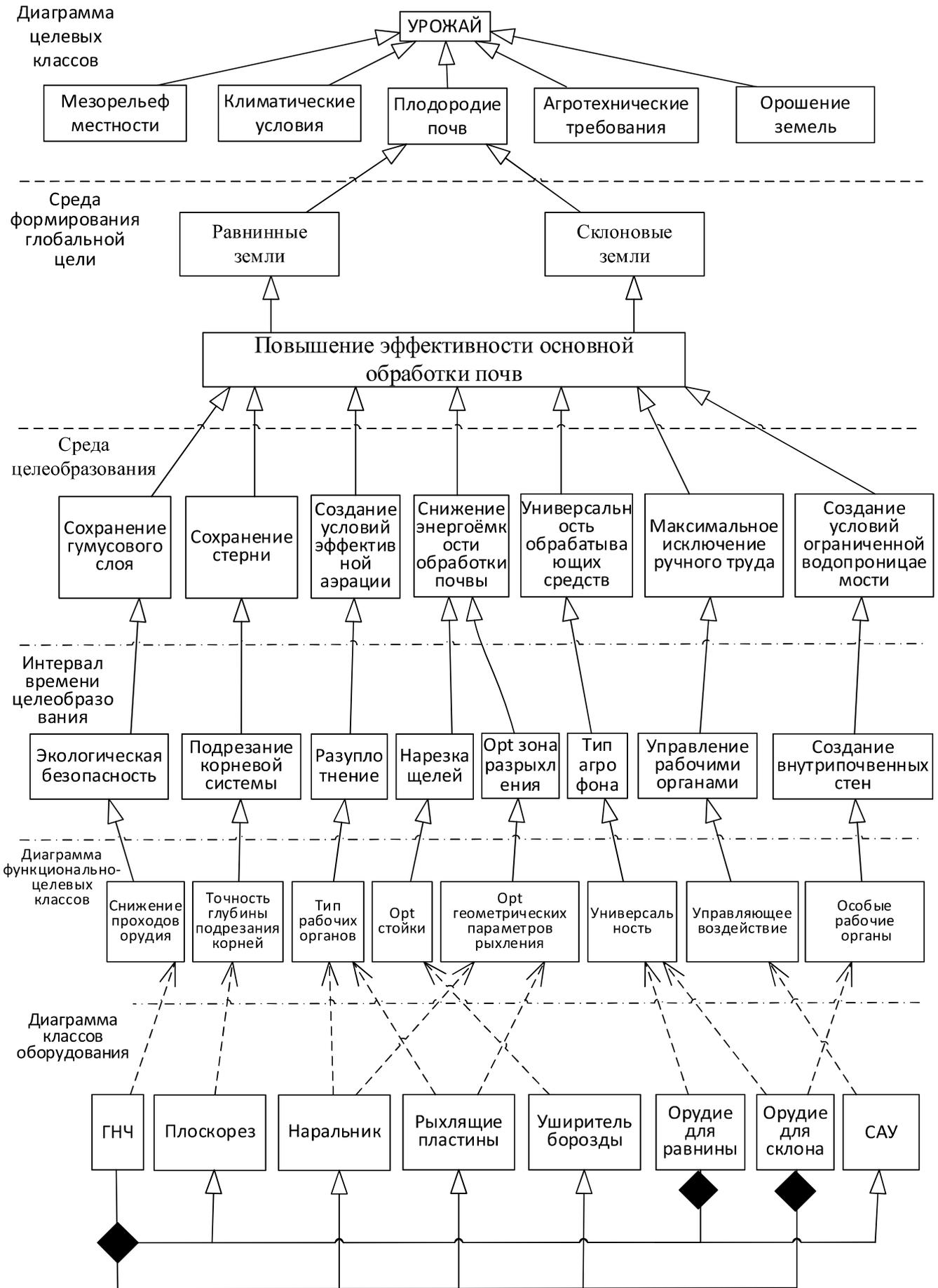
Реализуемость дальнейшего ветвления «дерева целей» (ДЦ) определяется составом следующего уровня инновационной тернарной диаграммы ОЦДК, что и позволяет обеспечить достижения подцелей вышестоящего уровня. По логике представленного процесса следует использовать не термин «подцель», а термин «функция». Исходя из этого ДЦ переходит в «дерево функций» [5, 14].

Следовательно, на уровне интервала времени целеобразования получаем целевые классы наследники, такие как: ЭБ, ПКС, РУ, НЩ, ОЗР, ТА, УРО, СВПС. Иерархическая декомпозиция целей будут проследиваться отношения наследования.

В результате получаем формирование переходной диаграммы функционально-целевых классов (ДФЦК). В полученной диаграмме новые элементы образуют следующие позиции: снижение проходов орудия (СПО); точность глубины подрезания корней (ТПК); тип рабочих органов (ТРО); оптимизация стойки (ОнС); оптимизация геометрических параметров рыхления (ОнГПР); универсальность (УО); управляющие воздействия (УпВ) и оптимизация рабочих органов (ОнРО).

На рассматриваемом уровне декомпозиции происходит наследование подцели, являющейся атрибутами целевых классов, перечисленных в ФЦК. Одновременно происходит формирование





*Тернарная объектно-целевая диаграмма классов СМОСРЗ
Ternary object-target diagram of classes of reclamation systems for slope and flat lands*



«отношений зависимостей», на основании которых определяются соответствующие функции, принадлежащие к конкретному классу оборудования. В результате, на основе разработанной системы СМОСРЗ осуществлен синтез универсального почвообрабатывающего орудия типа глубокорыхлителя навесного чизельного (ГНЧ).

Использование методологии исследования системы СМОСРЗ определяет набор необходимых различных технологических операций. Эти операции реализуются на универсальном почвообрабатывающем орудии типа ГНЧ в виде основного (*Наральник, Рыхлящие пластины*) и дополнительного оборудования (*Плоскорез, Уширитель борозды*), различных специализированных элементов и устройств (*САУ, ОРО*).

Реализация технологических операций, необходимых для достижения выявленных подцелей, осуществляется перечисленными на нижнем уровне ДЦК классами оборудования. Диаграмма классов оборудования представляет собой обобщенную архитектуру системы СМОСРЗ в виде диаграммы классов оборудования (ДКО), содержащих семь классов (*Плоскорез, Наральник, Рыхлящие пластины, Уширитель борозды, Орудия для равнины, Орудия для склона, САУ*), агрегированных в обрабатывающий комплекс на базе класса ГНЧ (см. рисунок).

Заключение. В результате интеграции диаграмм ДЦК, ДКО и ДФЦК, а также одновременного использования методологии концептуального конструирования СМОСРЗ, обеспечило создание структурной модели системы в виде гибридной объектно-целевой диаграммы классов. Полученная таким образом гибридная ОЦДК позволяет объединять элементы технологического оборудования с заявленными целями через взаимосвязи отношений агрегаций. Таким образом организуется базовая структура инновационного универсального орудия для обработки склоновых и равнинных земель.

Представленная гибридная ОЦДК дает возможность формализации для иницируемых конкретными технологическими задачами взаимосвязей целей.

Результаты теоретических исследований СМОСРЗ в виде гибридной ОЦДК обеспечили получение четырех патентов РФ на изобретение [10–13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев А. Г., Кузнецова И. В. Переуплотнение почв сельскохозяйственной техникой, прогноз явления и процессы разуплотнения // Почвоведение. 1994. № 4.
2. Буч Гради, Максимчук Роберт А., Энгл Майкл У., Янг Бобби Дж., Коналлен Джим, Хьюстон Келли А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. 2017.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2017 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019.
4. Максимов В. П. Проблемы имитационного моделирования динамики почвообрабатывающих агрегатов // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Новочеркасск, 2019. Ч. 1.
5. Максимов В. П., Свечкарев В. П. Концептуальное конструирование инновационных проектов подпоровых агрегатов // Известия ВУЗов. Сев.-Кавк.-регион. Техн. науки. 2005. № 1.
6. Мацяшек Л. А., Лионг Б. Л. Практическая программная инженерия на основе учебного примера. М., 2020.
7. Михайлин А. А., Максимов В. П. Оценка эффективности обработки богарных склоновых земель в южных районах РО инновационным глубокорыхлителем ГНЧ-60М // Вестник Башкирского ГАУ. 2019. № 4(52).
8. Новейший философский словарь: 2-е изд. Минск, 2001.
9. Патент 2255450 РФ, МПК А0В 13/16. Способ обработки склоновых земель / Михайлин А. А.; заявл. 29.03.2002; опубл. 20.04.2004. Бюл. № 14.
10. Патент 2255450 РФ, МПК А01В 13/16 (2000.01). Способ обработки склоновых почв / Михайлин А. А.; заявл. 29.03.2002; опубл. 10.07.2005. Бюл. № 19.
11. Патент 2694571 РФ, МПК А01В 13/14 (2006.01), А01В 13/16 (2006.01); СПК А01В 13/14 (2013.01), А01В 13/16 (2013.01), А01В 15/025 (2013.01). Универсальный глубокорыхлитель навесной чизельный / Михайлин А. А.; заявл. 21.11.2017; опубл. 21.05.2019. Бюл. № 15.
12. Патент 2742657 РФ, МПК А01В 13/08 (2006.01); СПК А01В 13/14 (2022.08). Безотвальный чизель-разрыхлитель навесной / Михайлин А. А., Максимов В. П., Филонов С. В., Ушаков А. Е.; заявл. 24.09.2019; опубл. 09.02.2021. Бюл. № 4.



13. Патент 2799608 RU, МПК А01В 13/14 (2006.01); СПК А01В 13/08 (2022.08). Адаптивный глубокорыхлитель для обработки уплотненных равнинных и склоновых земель / Михайлин А. А., Максимов В. П.; заявл. 16.03.2022; опубл. 07.07.2023. Бюл. № 19.

14. Свечкарев В. П. Системный анализ высокотехнологичных систем: информационный подход. Ростов н/Д., 2006. 264 с.

15. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем. Минск, 2004.

16. Bieniek J., Banasiak J., Lewandowski B. 2005: Straty ziarna w zespole czyszczącym wyposażonym w sito daszkowe. Inżynieria Rolnicza, nr 3(63), Kraków, 71–79.

17. Claas. Products. Режим доступа: <http://www.claasofamerica.com/company-claas-contact/claas-of-america/dealer-locator> (дата обращения 01.07.2019).

18. Claas. Режим доступа: <http://www.claas.it/prodotti/mietitrebbie/tucano-430-montana> (дата обращения 01.07.2019).

REFERENCES

1. Bondarev A. G., Kuznetsova I. V. Overcompaction of soils by agricultural machinery, forecast of the phenomenon and processes of decompaction. *Soil Science*. 1994;(4). (In Russ.).

2. Butch Grady, Maksimchuk Robert A., Engle Michael W., Young Bobby J., Conallen Jim, Huston Kelly A. Object-oriented analysis and design with application examples. 2017. (In Russ.).

3. Report on the state and use of agricultural lands in the Russian Federation in 2017. Moscow, 2019. (In Russ.).

4. Maksimov V.P. Problems of simulation modeling of the dynamics of soil-cultivating units. *Melioration and Water Management*. Novocheerkassk, 2019;(1). (In Russ.).

5. Maksimov V. P., Svechkarev V. P. Conceptual design of innovative projects of subsurface units. *Izvestia of Universities. North Caucasus region Tech. Sciences*. 2005;(1). (In Russ.).

6. Matsyashek L. A., Liong B. L. Practical software engineering based on a training example. Moscow, 2020. (In Russ.).

7. Mikhailin A.A., Maksimov V.P. Assessing the efficiency of processing rainfed slope lands in the southern regions of the Russian Federation with the innovative subsoiler GNCh-60M. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2019;4(52). (In Russ.).

8. The latest philosophical dictionary: 2nd ed. Minsk, 2001. (In Russ.).

9. Patent 2255450 RF, IPC A0/B 13/16. Method for processing slope lands / Mikhailin A. A.; application March 29, 2002; publ. 04/20/2004. Bull. No. 14. (In Russ.).

10. Patent 2255450 RF, IPC A01B 13/16 (2000.01). Method for treating slope soils / Mikhailin A. A.; application 03/29/2002; publ. 07/10/2005. Bull. No. 19. (In Russ.).

11. Patent 2694571 of the Russian Federation, IPC A01B 13/14 (2006.01), A01B 13/16 (2006.01); SPK A01B 13/14 (2013.01), A01B 13/16 (2013.01), A01B 15/025 (2013.01). Universal mounted chisel subsoiler / Mikhailin A.A.; application 11/21/2017; publ. 05/21/2019. Bull. No. 15. (In Russ.).

12. Patent 2742657 RF, IPC A01B 13/08 (2006.01); SPK A01B 13/14 (2022.08). Moldless chisel - mounted baking powder / Mikhailin A. A., Maksimov V. P., Filonov S. V., Ushakov A. E.; application 09/24/2019; publ. 02/09/2021. Bull. No. 4. (In Russ.).

13. Patent 2799608 RU, IPC A01B 13/14 (2006.01); SPK A01B 13/08 (2022.08). Adaptive subsoiler for processing compacted flat and slope lands / Mikhailin A. A., Maksimov V. P.; application 03/16/2022; publ. 07/07/2023. Bull. No. 19. (In Russ.).

14. Svechkarev V. P. System analysis of high-tech systems: information approach. Rostov on Don, 2006. 264 p. (In Russ.).

15. Tarasik V. P. Mathematical modeling of technical systems. Minsk, 2004. (In Russ.).

16. Bieniek J., Banasiak J., Lewandowski B. 2005: Straty ziarna w zespole czyszczącym wyposażonym w sito daszkowe. Inżynieria Rolnicza, nr 3(63), Kraków, 71–79.

17. Claas. Products. Available at: <http://www.claasofamerica.com/company-claas-contact/claas-of-america/dealer-locator> (accessed 07/01/2019).

18. Claas. Available at: <http://www.claas.it/prodotti/mietitrebbie/tucano-430-montana> (accessed 07/01/2019).

Статья поступила в редакцию 17.09.2023; одобрена после рецензирования 7.11.2023; принята к публикации 14.11.2023.

The article was submitted 17.09.2023; approved after reviewing 7.11.2023; accepted for publication 14.11.2023.

